饲料粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维残渣中各成分的研究

刘　磊　李福昌　杨鹏程　张崇玉*

（山东农业大学动物科技学院，山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室，泰安 271000）

摘　要：本试验旨在研究饲料粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维残渣中各成分。试验采用聚酯纤维筛网袋法测定了米糠、小麦麸、白三叶、构树叶、全株玉米、全株小麦、毛苕子、兔配合饲料、高粱、燕麦秸、苜蓿、稻秸、小黑麦干草、皇竹草、芦苇、花生秧、大豆秸和稻壳粉 18 种饲料的粗纤维（CF）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量，测定了饲料 CF 残渣中半纤维素、纤维素、酸性洗涤木质素和酸不溶灰分的含量及回收率，同时测定了 NDF 和 ADF 残渣中半纤维素、纤维素、酸性洗涤木质素和酸不溶灰分的含量，研究了饲料中的 CF、NDF 和 ADF 残渣中各成分含量及 CF 和 ADF 之间的相互关系。结果表明：所测 18 种饲料中的纤维素在 CF 残渣中的回收率最高（71.28%~105.03%）；饲料 ADF 含量（y_1）和 CF 含量(x_1)之间呈高度正相关：y_1=1.507 1+1.211 5x_1 （r=0.979 2，RSD=1.863 4，P<0.01）；饲料 ADF 残渣中去除酸不溶灰分后的 ADF 含量（y_2）和 CF 含量(x_2)之间的相关性更高：y_2=2.406 3+1.077 0x_2 （r=0.990 5，RSD=0.962 4，P<0.01）。由此提出饲料中半纤维素和纤维素含量的准确测定计算方法，即半纤维素含量等于 NDF 含量（无酸不溶灰分）减去 ADF 含量（无酸不溶灰分）；纤维素含量等于 ADF 含量（无酸不溶灰分）减去酸性洗涤木质素含量。

关键词：粗纤维；中性洗涤纤维；酸性洗涤纤维；酸性洗涤木质素

中图分类号：S816

饲料中粗纤维（CF）含量已被广泛地应用于饲料原料和配合饲料产品标签中的产品成分分析保证值中[1]。饲料 CF 是饲料经稀酸、稀碱处理后剩下的不溶性有机物，包括纤维素（CEL）、半纤维素（HCEL）、酸性洗涤木质素（ADL）及少量酸不溶灰分（AIA）。饲料中的各纤维成分在饲料测定 CF 含量的酸碱煮沸处理过程中，会或多或少地被分解，饲料中各纤维成分在 CF 残渣中的含量及回收率如何？一直是人们关心的问题。Vas Soest 等[2]提出的饲料中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、ADL 含量的测定方法被广泛采

收稿日期：2017-08-28

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项(CARS-44-B-1)；山东农业大学青年科技创新基金项目（2015—2016）；中国博士后科学基金（2015M58061）；山东省“双一流”奖补资金

作者简介：刘　磊（1985-），男，山东潍坊人，讲师，博士，从事家兔营养与生理代谢研究。E-mail: liusanshi1985@126.com

*通信作者：张崇玉，副教授，E-mail: 17225122@163.com

用，我国也制定了相应的国家标准或行业标准[3-5]。随着饲料 NDF、ADF、ADL 含量测定方法的改进，测定效率大幅提高[6-7]，这些指标越来越广泛地应用到饲料营养价值的评定中[8-10]。然而饲料 NDF、ADF 残渣中各组成成分如何?这方面的相关研究报道较少。

本试验选用有代表性的含纤维成分较多的糠麸类饲料和粗饲料，如米糠、小麦麸、白三叶等 18 种饲料，分析测定了饲料中 CF、NDF、ADF 和 ADL 的含量，并测定了 CF、NDF 和 ADF 残渣中 HCEL、CEL、ADL 和 AIA 的含量，研究了饲料 ADF 含量与 CF 含量之间关系，为应用 CF、NDF、ADF 和 ADL 等指标评定饲料营养价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用有代表性的含纤维成分较多的糠麸类饲料和粗饲料，包括米糠、小麦麸、白三叶、构树叶、全株玉米、全株小麦、毛苕子、兔配合饲料、高粱、燕麦秸、苜蓿、青稻秸、小黑麦干草、皇竹草、芦苇、花生秧、大豆秸和稻壳粉 18 种饲料，制成实验室半干样品或风干样品，按照 GB/T 20195–2006[11]制备样品，粉碎过 1.00 mm 金属筛，然后将样品充分混合均匀，密封保存以备分析测定。测定任何指标时，每个样本均取 2 个平行样进行测定。

1.2 指标测定方法

利用聚酯纤维筛网袋法测定饲料中 CF、NDF、ADF 和 ADL 含量[12-14]。

饲料 CF 残渣中各成分的测定方法如下：每种饲料样品取 4 个平行样，即测定 CF 含量后的含有残渣的 4 个筛网袋，2 个筛网袋用来测定饲料 CF 残渣中的 AIA 含量，另外 2 个筛网袋用来测定饲料 CF 残渣中的 HCEL、CEL 和 ADL 的含量。饲料 CF 残渣中的 HCEL、CEL 和 ADL 含量计算公式如下：

CF 残渣中 HCEL 含量（%）=饲料中 CF 含量-饲料中 ADF 含量；

CF 残渣中 CEL 含量（%）=饲料中 ADF 含量-(饲料中 ADL 含量+饲料中 AIA 含量)；

CF 残渣中 ADL 含量（%）=(饲料中 ADL 含量+饲料中 AIA 含量)-CF 残渣中 AIA 含量。

CF 残渣中各组分回收率的测定方法如下：先测定饲料中各组分的含量，再测定饲料 CF 残渣中各组分含量，CF 残渣中某一组分含量占饲料中此组分含量的百分数即为回收率。即：

CF 残渣中 HCEL 回收率（%）=（CF 残渣中的 HCEL 含量/饲料中 HCEL 含量）×100；

CF 残渣中 CEL 回收率（%）=（CF 残渣中的 CEL 含量/饲料中 CEL 含量）×100；

CF 残渣中 ADL 回收率（%）=（CF 残渣中的 ADL 含量/饲料中 ADL 含量）×100。

1.3　数据统计

试验数据用 Excel 2010 进行整理与分析，并用平均值表示。

2　结果与分析

2.1　饲料中各纤维成分的含量

从表 1 可以看出，在 18 中饲料中，NDF 含量为 23.96%~82.74%，ADF 含量为 9.38%~66.48%，HCEL 含量为 10.09%~29.67%，CEL 含量为 7.03%~41.73%，ADL 含量为 0.87%~24.75%，各种饲料之间纤维成分含量差别较大。

表 1　饲料中各纤维成分的含量

Table 1　Content of each fiber component in feed　　%

样品 Samples	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	半纤维素 HCEL	纤维素 CEL	酸性洗涤木质素 ADL	样品 Samples	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	半纤维素 HCEL	纤维素 CEL	酸性洗涤木质素 ADL
米糠 Rice bran	29.68	10.06	19.62	7.03	3.04	燕麦秸 Oat straw	51.84	32.26	19.58	22.49	2.10
小麦麸 Wheat bran	36.61	9.38	27.23	8.10	1.28	苜蓿 Alfalfa	41.67	32.21	9.46	17.68	6.22
白三叶 White clover	33.88	17.78	16.1	9.52	2.43	青稻秸 Rice straw	60.95	38.09	22.86	23.50	2.25
构树叶 Citron leaves	23.96	18.37	5.59	10.87	1.41	小黑麦干草 Triticale hay	57.98	34.57	23.41	22.71	3.02
全株玉米 Whole corn	45.38	22.92	22.46	14.52	1.45	皇竹草 *Pennisetum hydridum*	63.76	38.62	25.14	26.14	1.53
全株小麦 Whole wheat	40.83	21.62	19.21	13.85	1.72	芦苇 Reed	66.00	39.47	26.53	23.24	3.37
毛苕子 *Vicia villosa*	37.87	23.20	14.67	12.93	3.59	花生秧 Peanut seedling	54.66	39.50	15.16	29.53	9.97
兔配合饲料 Rabbit feed	45.32	20.81	24.51	16.39	4.16	大豆秸 Soybean stalk	61.98	47.73	14.25	39.12	8.61
高粱 Sorghum	51.29	28.86	22.43	20.16	0.87	稻壳粉 Rice husk powder	82.74	66.48	16.26	41.73	24.75

2.2　饲料中的 CF 残渣中各纤维成分含量及回收率

从表 2 可以看出，饲料中 CF(无 AIA)含量为 8.05%~47.90%，饲料 CF 残渣中以 CEL 为主，含量在 5.59%~36.65%之间；并含有少量的 HCEL，含量在 1.18%~4.60%之间；ADL 含量在 0.00~7.75%之间；还有少量的 AIA，含量在 0.21%~2.53%之间。饲料 CF 残渣中的 ADL 含量与饲料中 ADL 含量有关，苜蓿、花生秧、大豆秸和稻壳粉 CF 残渣中的 ADL 含量较高。

CEL 在 CF 残渣中的回收率最高，在 71.36%~105.03%之间，其中毛苕子、燕麦秸、青稻秸、皇竹草、全株玉米、甜高粱、全株小麦、苜蓿、小黑麦干草和芦苇，均接近 100%；其他饲料的 CEL 在 CF 残渣中的回收率在 71.26%~88.96%之间。CF 残渣中的 HCEL 和 ADL 的回收率比较低，分别在 4.33%~36.15%和 0~84.38%之间。

表 2　CF 残渣中各纤维成分含量及回收率

Table 2　Content and recovery of each fiber component in CF residue　　%

样品 Samples	含量 Content						回收率 Recovery		
	CF(无 AIA)	CF(含 AIA)	HCEL	CEL	ADL	AIA	HCEL	CEL	ADL
米糠 Rice bran	8.24	8.68	1.28	5.59	1.37	0.44	6.52	79.52	45.07
小麦麸 Wheat bran	8.05	8.26	1.18	5.78	1.08	0.21	4.33	71.36	84.38
白三叶 White clover	10.11	10.47	1.28	8.02	0.81	0.36	7.95	84.24	33.33
构树叶 Citron leaves	12.41	13.25	1.95	9.67	0.44	0.84	34.88	88.96	31.21
全株玉米 Whole corn	15.98	16.93	1.58	14.53	0.00	0.95	7.03	100.07	0.00
全株小麦 Whole wheat	16.26	17.07	1.85	14.11	0.29	0.81	9.63	101.88	16.86
毛苕子 Vicia villosa	16.58	17.01	1.86	12.41	2.30	0.43	12.68	95.98	64.07
兔配合饲料 Rabbit feed	15.48	16.64	1.72	11.68	2.08	1.16	7.02	71.26	50.00
高粱 Sorghum	22.41	22.82	2.48	20.29	0.00	0.41	11.06	100.64	0.00
燕麦秸 Oat straw	24.97	25.39	2.60	21.73	0.64	0.42	13.28	96.62	30.48
苜蓿 Alfalfa	25.97	26.97	3.42	18.33	4.22	1.00	36.15	103.68	67.85
青稻秸 Rice straw	26.17	26.69	2.37	23.37	0.43	0.52	10.37	99.45	19.11
小黑麦干草 Triticale hay	27.79	28.30	3.03	23.60	1.14	0.51	12.94	103.92	37.75
皇竹草 Pennisetum hydridum	29.11	29.73	3.02	26.09	0.00	0.62	12.01	99.81	0.00
芦苇 Reed	29.78	30.18	3.88	24.41	1.49	0.40	14.62	105.03	44.21
花生秧 Peanut seedling	31.56	34.09	4.60	21.05	5.92	2.53	30.34	71.28	59.38

大豆秸 Soybean stalk	42.63	43.54	3.97	31.99	6.68	0.91	27.86	81.77	77.58
稻壳粉 Rice husk powder	47.90	48.90	3.50	36.65	7.75	1.00	21.53	87.83	31.31

CF：粗纤维 crude fibe；HCEL：半纤维素 hemicellulose；CEL：纤维素 cellulose；ADL：酸性洗涤木质素 acid detergent lignin；AIA：酸不溶灰分 acid insoluble ash。下表同 The same as below.

2.3 饲料中的 NDF 和 ADF 残渣中的各纤维成分含量

从表 3 可以看出，饲料中的 NDF 残渣中以 HCEL 和 CEL 为主，还含有 ADL 和 AIA；饲料中的 NDF 残渣中 ADL 含量，稻壳粉为 21.28%，其他饲料在 1.77%~10.97%之间。饲料中的 ADF 残渣中以 CEL 为主，还含有 ADL 和 AIA。饲料中的 NDF 和 ADF 残渣中的 AIA 在 1.00%~9.53%和 0.26%~10.36%之间，青稻秸和稻壳粉的 NDF 和 ADF 残渣中的 AIA 含量较高。

表 3 NDF 和 ADF 残渣中各纤维成分的含量

Table 3 Content of each fiber component in NDF and ADF residue %

样品 Samples	NDF 残渣 NDF residue						ADF 残渣 ADF residue				
	NDF(无 AIA)	NDF(含 AIA)	HCEL	CEL	ADL	AIA	ADF(无 AIA)	ADF(含 AIA)	CEL	ADL	AIA
米糠 Rice bran	28.51	29.68	20.78	6.25	2.65	1.17	9.36	10.06	6.32	3.04	0.70
小麦麸 Wheat bran	35.61	36.61	27.92	6.72	1.96	1.00	9.12	9.38	7.84	1.28	0.26
白三叶 White clover	32.21	33.88	20.25	10.97	2.66	1.67	17.19	17.78	14.76	2.43	0.59
构树叶 Citron leaves	22.85	23.96	10.09	12.04	1.83	1.11	16.95	18.37	15.54	1.41	1.42
全株玉米 Whole corn	43.35	45.38	24.67	18.01	2.69	2.03	21.01	22.92	19.56	1.45	1.91
全株小麦 Whole wheat	38.83	40.83	21.26	16.87	2.71	2.00	19.43	21.62	17.71	1.72	2.19
毛苕子 *Vicia villosa*	36.26	37.87	17.77	16.00	4.10	1.61	22.75	23.20	19.16	3.59	0.45
兔配合饲料 Rabbit feed	42.74	45.32	27.12	13.44	4.76	2.58	18.76	20.81	14.60	4.16	2.05
高粱 Sorghum	49.83	51.29	25.57	23.95	1.77	1.46	27.31	28.86	26.44	0.87	1.55
燕麦秸 Oat straw	50.55	51.84	23.61	25.17	3.06	1.29	30.77	32.26	28.67	2.10	1.49

苜蓿 Alfalfa	40.46	41.67	13.64	21.29	6.73	1.21	31.40	32.21	25.18	6.22	0.81
青稻秸 Rice straw	56.07	60.95	28.36	27.62	4.97	4.88	32.41	38.09	30.16	2.25	5.68
小黑麦干草 Triticale hay	56.17	57.98	26.95	26.92	4.10	1.81	32.96	34.57	29.94	3.02	1.61
皇竹草 *Pennisetum hydridum*	61.40	63.76	29.67	31.04	3.05	2.36	35.49	38.62	33.96	1.53	3.13
芦苇 Reed	63.06	66.00	29.63	29.28	7.09	2.94	36.22	39.47	32.85	3.37	3.25
花生秧 Peanut seedling	50.96	54.66	18.36	25.32	10.97	3.70	36.74	39.50	26.77	9.97	2.76
大豆秸 Soybean stalk	60.60	61.98	19.05	33.96	8.98	1.38	46.96	47.73	38.35	8.61	0.77
稻壳粉 Rice husk powder	73.21	82.74	20.66	40.80	21.28	9.53	56.12	66.48	31.37	24.75	10.36

NDF：中性洗涤木质素 neutral detergent lignin；ADF：酸性洗涤木质素 acid washing lignin。

3.4 饲料中 HCEL 和 CEL 含量的结果分析

传统方法计算饲料中 HCEL 含量为：$\omega1$(HCEL)=ω(NDF)-ω(ADF)；利用去除 AIA 后的 NDF 和 ADF 含量差计算 HCEL 含量为：$\omega2$(HCEL)=ω[NDF（无 AIA）]-ω[ADF（无 AIA）]；利用连续法测定 NDF 和 ADF 含量差值得出的 HCEL 含量为$\omega3$(HCEL)，即先测定饲料中 NDF 的含量，再继续用 NDF 残渣直接测定 ADF 含量。从表 4 可以看出，$\omega1$(HCEL)和$\omega2$(HCEL)含量二者数值基本一致，二者相关系数为 0.994 7，连续法测定的$\omega3$(HCEL)含量偏高，个别数据差异较大。

饲料中 CEL 含量按下式计算：$\omega4$(CEL)=ω(ADF)-ω(ADL+AIA)和$\omega5$(CEL)=ω[ADF（无 AIA）]-ω(ADL)。从表 4 可以看出，$\omega4$(CEL)值比$\omega5$(CEL)值偏高，有的差别较大，如稻壳粉的 CEL 含量分别为 41.73%和 31.37%。

表 4　不同方法计算的饲料中 HCEL 和 CEL 含量

Table 4　HCEL and CEL content in feed with different calculation methods　%

样品 Samples	$\omega1$ (HCEL)	$\omega2$ (HCEL)	$\omega3$ (HCEL)	$\omega4$ (CEL)	$\omega5$ (CEL)	样品 Samples	$\omega1$ (HCEL)	$\omega2$ (HCEL)	$\omega3$ (HCEL)	$\omega4$ (CEL)	$\omega5$ (CEL)
米糠 Rice bran	19.62	19.15	20.78	7.02	6.32	燕麦秸 Oat straw	19.58	19.78	23.61	30.16	28.67
小麦麸 Wheat	27.23	26.49	27.92	8.10	7.84	苜蓿 Alfalfa	9.46	9.06	13.64	25.99	25.18

bran											
白三叶 White clover	16.10	15.02	20.25	15.35	14.76	青稻秸 Rice straw	22.86	23.66	28.36	35.84	30.16
构树叶 Citron leaves	5.59	5.90	10.09	16.96	15.54	小黑麦干草 Triticale hay	23.41	23.21	26.95	31.55	29.94
全株玉米 Whole corn	22.46	22.34	24.67	21.47	19.56	皇竹草 *Pennisetum hydridum*	25.14	25.91	29.67	37.09	33.96
全株小麦 Whole wheat	19.21	19.40	21.26	19.90	17.71	芦苇 Reed	26.53	26.84	29.63	36.10	32.85
毛苕子 *Vicia villosa*	14.67	13.51	17.77	19.61	19.16	花生秧 Peanut seedling	15.16	14.22	18.36	29.53	26.77
兔配合饲料 Rabbit feed	24.51	23.98	27.12	16.65	14.60	大豆秸 Soybean stalk	14.25	13.64	19.05	39.12	38.35
高粱 Sorghum	22.43	22.52	25.57	27.99	26.44	稻壳粉 Rice husk powder	16.26	17.09	20.66	41.73	31.37

2.5 饲料中 CF 含量和 ADF 含量的关系分析

对 18 种饲料中的 ADF 含量和 CF 含量做回归分析，饲料 ADF 含量（y_1）和 CF 含量(x_1)之间呈高度正相关：y_1=1.507 1+1.211 5x_1 （r=0.979 2，RSD=1.863 4，P<0.01）。

饲料 ADF 残渣去除 AIA 后的 ADF 含量（y_2）和 CF 含量(x_2)之间相关性更高，可用于二者之间的估测：y_2=2.406 3+1.077 0x_2 （r=0.990 5，RSD=0.962 4，P<0.01）。

3 讨 论

3.1 影响饲料中的 CF 残渣中纤维成分回收率的因素

饲料中的 CF 残渣中的 HCEL、CEL 和 ADL 的回收率与它们的化学性质有关。饲料经酸、碱处理后的 CF 残渣中，以 CEL 为主，还有少量的 HCEL、ADL 和 AIA。在酸、碱煮沸处理时，饲料中的 CEL、HCEL 和 ADL 会或多或少的被溶解。饲料中的 CEL 是最稳定的成分，能耐稀酸、稀碱煮沸处理，故在饲料中的 CF 残渣中的回收率较高；饲料中的 HCEL 是不稳定的成分，能溶解于稀酸、稀碱，故在饲料中的 CF 残渣中的回收率较低；饲料中的

ADL 耐酸，但在碱煮沸过程中，大部分会被溶解[15-16]。本试验表明，不同饲料中的 CF 残渣中各纤维成分的回收率不同，这是因为不同饲料中的 HCEL、CEL 和 ADL 组成与含量不同。

3.2　饲料中的 HCEL 和 CEL 含量的测定方法探讨

因为 NDF 和 ADF 是混合物，且各成分含量变化较大，所以饲料中 HCEL、CEL 及 ADL 等成分含量的指标更能清晰地表明饲料纤维成分的组成。饲料中的 NDF 和 ADF 残渣中的 AIA 分别在在 1.00%~9.53%和 0.26%~10.36%之间，含量不容忽视，因此建议，饲料 NDF 和 ADF 含量指标应分为 NDF（含 AIA）和 NDF（无 AIA）或 ADF（含 AIA）和 ADF（无 AIA）2 个指标标注。

传统方法测定饲料中 HCEL 含量，是利用 NDF 含量和 ADF 含量之差求得 HCEL 含量。本文提出饲料中 HCEL 含量等于 NDF（无 AIA）含量减去 ADF（无 AIA）含量。本试验结果表明，利用此 2 种方法求得的数值基本一致，二者相关系数为 0.994 7，均可用来计算饲料中 HCEL 含量，但以后者求得的 HCEL 含量的数值更准确，因为它的计算方法排除了 NDF 和 ADF 中 AIA 的影响。利用连续测定法测定饲料中 HCEL 含量，是先测定饲料中 NDF 含量，之后再测定其 ADF 含量，二者之差即为 HCEL 含量，此法求得的 HCEL 含量偏高，个别数据差异较大。故连续测定法不适合用来测定饲料中 HCEL 的含量。

传统方法饲料中 CEL 含量按下式计算：$\omega 4$(CEL)=ω(ADF)-ω(ADL+AIA)；本文作者提出饲料中 CEL 含量按下式计算：$\omega 5$（CEL）=ω[ADF（无 AIA）]-ω(ADL)。2 种方法求得饲料 CEL 含量，有的差别较大，后者排除了饲料 ADF 中 AIA 造成的影响，求出的 CEL 值较为准确。

3.3　饲料中 CF 含量和 ADF 含量的关系

饲料中 CF 含量和 ADF 含量的关系密切。饲料 CF 含量中以 CEL 为主，本试验中对 18 种饲料中 CF 残渣分析，CEL 占 CF 残渣含量的平均值为 79.91%，还含有部分 HCEL 和 ADL。饲料 ADF 含量中也以 CEL 为主，CEL 占 ADF 残渣含量平均值为 77.35%，还含有全部的 ADL 和 AIA。本试验中 18 种饲料的 ADF 含量值是饲料中 CF 含量值的 128.96%，二者呈高度正相关，相关系数为 0.979 2。

饲料 ADF 残渣中的 AIA 去除后，即 ADF（无 AIA）含量是包括饲料中全部的 CEL 和 ADL。饲料中 ADF（无 AIA）和 CF 组成成分的不同，主要在于前者含有饲料中全部的 ADL，而后者只含有饲料中部分 ADL，故同一种饲料中 ADF（无 AIA）含量总是大于饲料中 CF 含量。本试验中 18 种饲料的 ADF（无 AIA）含量是饲料中 CF 含量的 120.00%，二者呈高度正相关，相关系数为 0.990 5，可以用于二者之间的估测。建议用饲料中 ADF（无 AIA）

指标代替饲料中 CF 指标，评价饲料中的 CEL 和 ADL 成分，更准确且易于测定。

4 结 论

① 所测 18 种饲料中的 CEL 在 CF 残渣中的回收率最高（71.28%~105.03%）。

② 饲料 ADF 含量（y_1）和 CF 含量(x_1)之间呈高度正相关：y_1=1.507 1+1.211 5x_1（r=0.979 2，RSD=1.863 4，P<0.01）。

③ 饲料 ADF 残渣中去除 AIA 后的 ADF 含量（y_2）和 CF 含量(x_2)之间的相关性更高：y_2=2.406 3+1.077 0x_2 （r=0.990 5，RSD=0.962 4，P<0.01）。

④ 提出饲料中 HCEL 和 CEL 含量的准确测定计算方法，即 HCEL 含量等于 NDF（无 AIA）含量减去 ADF（无 AIA 含量）；CEL 含量等于 ADF（无 AIA）含量减去 ADL 含量。

参考文献：

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB10648–2013 饲料标签[S].北京:中国标准出版社,2013.

[2] VAS SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20806–2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定[S].北京:中国标准出版社,2006.

[4] 中华人民共和国农业部.NY/T 1459–2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S].北京:农业出版社,2008.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会 GB/T 20805–2006 饲料中酸性洗涤木质素(ADL)的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[6] 闫贵龙,程成,曹春梅,等.煮沸时间对滤袋法测定青贮玉米 NDF 和 ADF 含量的影响[J].畜牧兽医学报,2012,43(3):404–409.

[7] 田雨佳,曹志军,李胜利,等.不同粉碎粒度的饲料对滤袋法测定纤维物质含量的影响[J].动物营养学报,2013,25(2):350–355.

[8] 潘晓花,杨亮,庞之洪,等.猪饲料有效能值预测模型的构建[J].动物营养学报,2015,27(5):1450–1460.

[9] 刘洁,刁其玉,赵一广,等.肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J].畜牧兽医学报,2012,43(8):1230–1238.

[10] 赵明明,马涛,马俊南,等.肉用绵羊常用粗饲料有效能值的预测与方程的建立[J].动物营养学报,2016,28(8):2385–2395.

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国家标准化管理委员会.GB/T 20195–2006 动物饲料试样的制备[S].北京:中国标准出版社,2006.

[12] 张崇玉,王保哲,张桂国,等.饲料中的粗纤维、NDF、ADF 和 ADL 含量的快速测定方法[J].山东畜牧兽医,2015,36(9):20–22.

[13] 张崇玉,张桂国,高志标,等.聚酯筛网袋法测定饲料中 CF 和 NDF 含量的精密度研究[J].山东畜牧兽医杂志,2016,37(8):1–3.

[14] 张崇玉,张桂国,王保哲,等.饲料中的酸性洗涤纤维和木质素含量的快速测定[J].山东畜牧兽医杂志,2014,35(8):8–9.

[15] 赵晶,张福蓉,陈明,等.NaOH 预处理对玉米秸秆纤维结构特性和酶解效率的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(7):1407–1412.

[16] 高月淑,许敬亮,袁振宏,等.半纤维素酶添加对碱处理甘蔗渣结构及酶解的影响[J].化工进展,2016,35(S1):270–275.

Study of Components in Residue of Crude Fiber, Neutral Detergent Fiber and Acid Detergent Fiber in Feed

LIU Lei　LI Fuchang　YANG Pengcheng　ZHANG Chongyu*

(S*handong Provincial Key Laboratory of Animal Biotechnology and Disease Control and Prevention*, *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271000, *China*)

Abstract: The present experiment was conducted to study the components in residue of crude fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber in feed. The contents of crude fiber (CF), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) in rice bran, wheat bran, white clover, citron leaves, whole corn, whole wheat, *Vicia villosa,* rabbit feed, sorghum, oat straw, alfalfa, rice straw, triticale hay, *Pennisetum hydridum*, reed, peanut seedling, soybean stalk and rice husk powder were determined via polyester fiber mesh bag method, and determined the content and recovery of hemicellulose, cellulose, acid detergent lignin and acid insoluble ash in CF residue of feed,

*Corresponding author, associate professor, E-mail: 17225122@163.com　（责任编辑　武海龙）

meanwhile, also determined the content of hemicellulose, cellulose, acid detergent lignin and acid insoluble ash in NDF and NDF residues of feed, to research the composition and the relationship between CF and ADF in CF, NDF and ADF residues. The results showed that the recovery of cellulose in CF residue was the highest (71.28% to 105.03%). There was a highly positive correlation between ADF content (y_1) and CF content (x_1): y_1=1.507 1+1.211 5x_1 (r=0.979 2, RSD=1.863 4, P<0.01). There was a more correlation between the ADF without acid insoluble ash (y_2) content in ADF residue and CF content (x_2) in ADF: y_2=2.406 3+1.077 0x_2 (r=0.990 5, RSD=0.962 4, P<0.01). We propose the accurate calculation method of hemicellulose and cellulose content: hemicellulose content=NDF content (without acid insoluble ash)-ADF content (without acid insoluble ash) and cellulose content=ADF content (without acid insoluble ash)-ADL content.

Key words: crude fiber; neutral detergent fiber; acid detergent fiber; acid detergent lignin